

*Produksi Hidrogen Proses Steam Reforming Dimethyl Ether (DME)
dengan Reaktor Nuklir Temperatur Rendah
(Djati H. Salimy)*

PRODUKSI HIDROGEN PROSES STEAM REFORMING DIMETHYL ETHER (DME) DENGAN REAKTOR NUKLIR TEMPERATUR RENDAH

Djati H. Salimy

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Abdul Rohim Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp./Faks. (021)5204243, Email: djatihs@batan.go.id

Masuk: 9 April 2010

Direvisi: 15 April 2010

Diterima: 19 April 2010

ABSTRAK

PRODUKSI HIDROGEN PROSES STEAM REFORMING DIMETHYL ETHER (DME) DENGAN REAKTOR NUKLIR TEMPERATUR RENDAH. Telah dilakukan pengkajian proses steam reforming dimethyl ether (DME) untuk produksi hidrogen dengan memanfaatkan reaktor nuklir temperatur rendah sebagai sumber energi panas. Berbeda dengan proses steam reforming gas alam yang beroperasi pada temperatur tinggi (800-1000°C), proses steam reforming DME beroperasi pada temperatur rendah (300°C). Hal ini menguntungkan karena tidak memerlukan material unit operasi temperatur tinggi yang secara ekonomi jauh lebih mahal. Dari sisi aplikasi reaktor nuklir, juga menguntungkan karena hampir semua jenis reaktor daya bisa dimanfaatkan sumber energi panasnya untuk menjalankan proses, termasuk reaktor daya komersial yang saat ini beroperasi. Di samping itu, karena sebagai bahan baku DME tidak mengandung unsur belerang, unit operasi pabrik bisa lebih kompak karena tidak membutuhkan unit desulfurisasi. Kopel nuklir dengan proses dioperasikan secara kogenerasi menghasilkan hidrogen dan listrik. Kopel reaktor nuklir temperatur rendah LWR dengan proses steam reforming DME dengan konfigurasi upsteam turbine menunjukkan potensi peningkatan efisiensi termal dari sekitar 33% menjadi 53%, yaitu efisiensi produksi hidrogen (30%) dan efisiensi produksi listrik (23%). Sedangkan kopel proses dengan reaktor nuklir temperatur menengah FBR dengan konfigurasi downstream turbine menunjukkan potensi peningkatan efisiensi termal dari sekitar 33% menjadi 75%, yaitu efisiensi produksi hidrogen (49%) dan efisiensi produksi listrik (26%).

Kata kunci: steam reforming DME, efisiensi termal, unit desulfurisasi, LWR, FBR.

ABSTRACT

DIMETHYL ETHER (DME) STEAM REFORMING PROCESS FOR HYDROGEN PRODUCTION BY UTILIZATION OF LOW TEMPERATURE NUCLEAR REACTOR. The assessment of DME steam reforming process for hydrogen production by utilizing of low temperature nuclear reactor has been carried out. Difference with natural gas steam reforming that operates at high temperature (800-1000°C), the process operates at low temperature (300°C). This condition give the advantage since this process is not require high temperature materials for the plant, that economically more expensive. From the point of nuclear reactor application, all temperature range of nuclear reactors can be applied to supplied their heat for the process, include of commercially nuclear reactor in operation now. While, DME as raw material is free from sulfur content, so the operation unit of plant can be more compact, because the plant is not require the unit of desulfurization. The couple of the process with nuclear reactor is operate in cogeneration mode to produce electricity and hydrogen. The couple of low temperature nuclear reactor (LWR) with the process, with the configuration of upstream from turbine shows the potential of increasing efficiency from about 33% to 53% (30% efficiency of hydrogen production, and 23% electricity). While couple of the process with medium temperature nuclear reactor of FBR shows the potential of increasing efficiency from about 33% to 75% (49% efficiency of hydrogen production, and 26% electricity).

Keywords: DME steam reforming, thermal efficiency, desulfurization unit, LWR, FBR.

1. PENDAHULUAN

Kebijakan pemanfaatan energi nuklir guna pembangkitan listrik dan kogenerasi di Indonesia adalah terwujudnya peran energi nuklir secara simbiotik dan sinergistik dengan sumberdaya energi tak terbarukan maupun terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi nasional guna mendukung pembangunan berkelanjutan^[1]. Untuk itu, disamping mendorong terwujudnya PLTN pertama di Indonesia, BATAN juga harus terus melakukan berbagai kajian reaktor nuklir masa depan seperti: konsep reaktor kogenerasi produksi air bersih (desalinasi), penggunaan panas proses untuk operasi industri temperatur tinggi dan medium seperti produksi hidrogen, gasifikasi batubara, dan lain-lain. Dalam forum internasional, terbentuknya *Nuclear Hydrogen Society* pada tahun 2001 di Jepang^[2], mendorong kerjasama yang semakin intensif diantara negara-negara maju untuk mewujudkan terealisasinya sistem energi nuklir hidrogen, yaitu suatu sistem produksi hidrogen berbasis energi panas dari reaktor nuklir.

Sampai saat ini lebih dari 85% kebutuhan hidrogen dunia diproduksi dengan proses *steam reforming* gas alam, yang beroperasi pada temperatur tinggi (800-1000°C) dengan sumber energi panas pembakaran bahan bakar fosil^[3]. Ini berakibat pada tingkat emisi CO₂ yang sangat tinggi pada proses produksinya. Substitusi sumber energi panas dengan reaktor nuklir dapat mengurangi secara signifikan emisi CO₂. Berbagai studi aplikasi panas nuklir temperatur tinggi telah dilakukan, namun begitu komersialisasinya masih menunggu komersialisasi reaktor temperatur tinggi itu sendiri^[4]. Untuk itu, berbagai litbang proses *steam reforming* terus dilakukan untuk memperoleh proses yang dimungkinkan beroperasi pada temperatur lebih rendah sehingga reaktor komersial yang saat ini beroperasi dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas. Salah satu proses yang diharapkan dapat diandalkan adalah proses *steam reforming dimethyl ether* (DME) yang beroperasi pada kisaran temperatur 300°C^[5]. Proses *steam reforming* DME menguntungkan karena beroperasi pada temperatur rendah sehingga dapat memanfaatkan reaktor daya komersial. Proses ini juga menguntungkan dari sisi proses kimia, karena tidak memerlukan unit desulfurisasi dan transformasi CO, sehingga unit pabriknya lebih kompak.

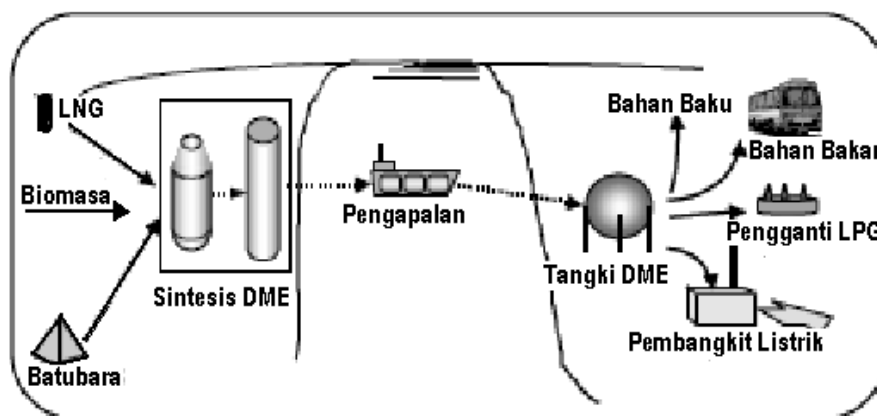
Konsep aplikasi energi nuklir sebagai sumber energi (panas dan listrik) untuk industri telah dikaji lebih dari 50 tahun. Reaktor temperatur tinggi berpendingin gas (HTGR) yang beroperasi pada temperatur tinggi (~1000°C) dan reaktor pembiak cepat (FBR) yang beroperasi pada temperatur 500-700 diperkirakan merupakan jenis reaktor yang sangat potensial menyumbangkan produksi energinya untuk kebutuhan industri. Jika sampai saat ini dari reaktor nuklir komersial hanya menghasilkan listrik, ada suatu prediksi bahwa nantinya reaktor nuklir juga bisa menghasilkan hidrogen sebagai energi alternatif^[6]. Tersendatnya komersialisasi reaktor temperatur tinggi dan medium, mendorong sejumlah pakar nuklir untuk mendayagunakan reaktor temperatur rendah yang saat ini telah beroperasi secara komersial sebagai penyumbang 17% listrik dunia, untuk diteliti lebih lanjut kemungkinan pendayagunaan untuk keperluan industri sebagai sumber energi panas/kukus. Canada saat ini melakukan studi sangat intensif memanfaatkan reaktor CANDU, sebagai sumber energi panas untuk industri minyak berbasis minyak berat^[7]. Reaktor dioperasikan secara kogenerasi. Sebagian uap yang dihasilkan digunakan untuk memasok kebutuhan uap untuk EOR. Sedang sebagian lagi dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, yang kemudian digunakan untuk memproduksi hidrogen dengan proses elektrolisis. Hidrogen dimanfaatkan untuk proses *upgrading* minyak berat yang dihasilkan dari proses EOR (*enhance oil recovery*). Toshiba bekerjasama dengan Westinghouse juga mengembangkan reaktor daya komersial tipe PWR untuk keperluan produksi hidrogen proses *steam reforming* DME yang berlangsung pada kisaran temperatur operasi reaktor^[8].

Dalam makalah ini akan dibahas proses *steam reforming* DME untuk produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas reaktor nuklir temperatur rendah dan menengah. Tujuan studi adalah untuk memahami berbagai aspek dan karakteristik proses *steam reforming* DME serta kemungkinan pemanfaatan reaktor nuklir temperatur rendah dan menengah sebagai sumber energi panas untuk menjalankan proses.

2. PROSES STEAM REFORMING DME DENGAN REAKTOR NUKLIR TEMPERATUR RENDAH

2.1. Sintesis dan Karakteristika DME

Dimethyl ether merupakan senyawa organik bentuk gas tak berwarna dengan rumus kimia CH_3OCH_3 . Pembakaran DME mengemisi NO_x dan CO dalam jumlah yang relatif sangat sedikit dan bebas emisi SO_x , sehingga DME sangat potensial sebagai bahan bakar transportasi yang menjanjikan di masa depan. DME bisa menggantikan bahan bakar mesin diesel tanpa terlalu banyak melakukan modifikasi mesin. DME memiliki angka *cetane* sekitar 55, lebih besar dibanding angka *cetane* bahan bakar diesel konvensional yang hanya berkisar 40-53. Emisi gas bakar yang jauh lebih bersih dibanding bahan bakar diesel, mengakibatkan DME sebagai bahan bakar transportasi memenuhi syarat emisi lingkungan di negara-negara maju seperti Jepang, Amerika, dan negara-negara Eropa^[9]. Di samping sebagai bahan bakar transportasi, DME juga dapat digunakan sebagai bahan bakar gas turbin pada pembangkit listrik, maupun bahan bakar rumah tangga menggantikan LPG^[10]. Pada industri kimia, DME merupakan bahan baku (*chemical feedstock*) yang mudah dikonversi menjadi bahan lain, salah satunya menjadi hidrogen.



Gambar 1. Skema Sintesis, Transportasi, dan Kegunaan DME^[11]

DME dapat disintesis dari hidrokarbon seperti gas alam, batubara, hidrokarbon ringan, maupun biomassa. Studi di Jepang menunjukkan bahwa sintesis DME dari gas alam relatif lebih murah dibanding proses pencairan gas alam. Proses pencairan gas alam memerlukan temperatur dibawah titik uapnya (-125°C), sehingga dibutuhkan unit pabrik yang relatif besar. Sementara DME (dengan titik uap -25°C) dapat dicairkan hanya dengan memberikan tekanan tanpa memerlukan pendinginan seperti halnya DME. DME bisa diangkut dengan kapal LPG biasa, sementara LNG harus diangkut menggunakan kapal tanker khusus. Hal ini mengakibatkan biaya *CIF* (*cost, insurance, freight*) DME lebih rendah dibanding LNG. Bagi negara-negara yang tidak memiliki sumber daya gas alam seperti Jepang, pengadaan DME dapat lebih murah daripada gas alam. Karena itu, proses produksi hidrogen dengan proses *steam reforming* DME diharapkan bisa lebih murah daripada proses konvensional berbahan baku gas alam. Pada Gambar 1, disajikan skema sintesis, transportasi dan kegunaan DME.

Proses sintesis DME merupakan reaksi oksidasi partial yang total reaksinya sama sekali tidak mengemisi CO₂:



yang merupakan reaksi eksotermal dengan mengeluarkan panas sebesar 160kJ/mol.

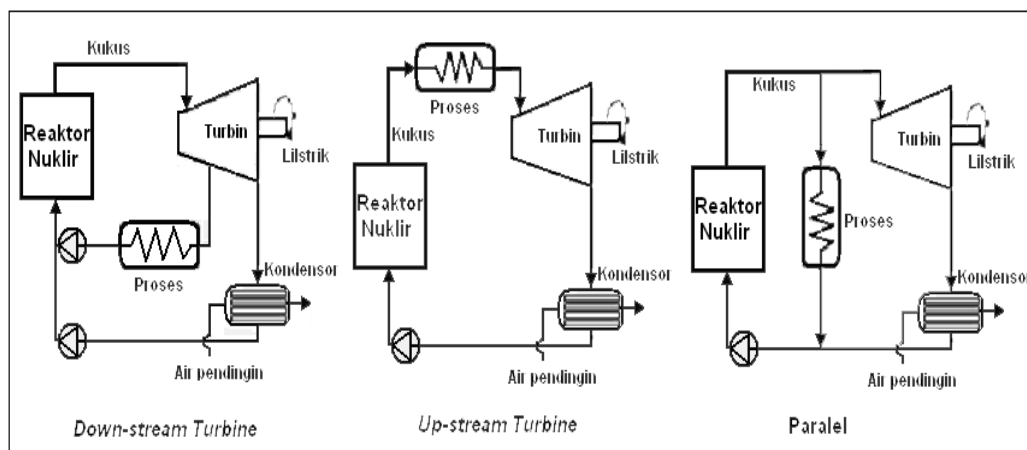
Adapun reaksi-reaksi yang terlibat dalam sintesis DME adalah^[5]:



dengan total reaksi seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).

2.2. Sistem Kogenerasi Nuklir

Kogenerasi didefinisikan sebagai serangkaian pembangkitan dua atau lebih bentuk energi yang berbeda dari satu jenis pembangkit energi^[12]. Energi yang sering dibangkitkan bersamaan biasanya dalam bentuk energi mekanik dan energi termal. Energi mekanik dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik, sedang energi termal untuk aplikasi proses secara langsung, seperti misalnya produksi kukus atau air panas. Tujuan dari kogenerasi adalah untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi yang dibangkitkan dari suatu pembangkit. Pada sistem pembangkit listrik konvensional, efisiensi hanya sekitar 35%, sedang sisa panas dibuang ke lingkungan. Dengan sistem kogenerasi, diharapkan efisiensi termal dari suatu pembangkit energi bisa lebih dioptimalkan.



Gambar 2. Diagram Alir Skema Kogenerasi Nuklir^[12,13,14]

Sistem kogenerasi juga diadopsi untuk mengoptimalkan aplikasi panas reaktor nuklir. Secara umum ada berbagai macam pola kogenerasi, tapi prinsip dasarnya seperti terlihat pada Gambar 2. Yang pertama adalah *down-stream turbine*, panas reaktor mula-mula digunakan untuk membangkitkan listrik, baru luaran panas dari turbin digunakan untuk menjalankan proses. Pada kasus ini, temperatur proses biasanya agak jauh lebih rendah dari pada temperatur panas luaran reaktor nuklir. Pada kasus ke dua, panas luaran proses dimanfaatkan dulu untuk menjalankan proses, panas luaran proses digunakan untuk

menghasilkan listrik. Sedang yang ketiga merupakan konfigurasi paralel, luaran panas reaktor nuklir dibagi untuk dimanfaatkan secara paralel antara produksi listrik dan aplikasi panas.

Studi produksi hidrogen dengan memanfaatkan panas nuklir telah dilakukan di berbagai negara maju. Jepang bahkan telah menyelesaikan studi aplikasi panas nuklir temperatur tinggi untuk menjalankan proses *steam reforming* gas alam menghasilkan hidrogen dan metanol. Studi yang telah dilakukan sejak tahun 1970-an, telah dianggap selesai di awal dasawarsa 2000-an. Studi ini ditindaklanjuti ke tahap implementasi kopel nuklir dengan proses *steam reforming* gas alam. Pabrik skala *demonstration plant* telah dibangun di dekat HTTR, dan berbagai ujicoba kopel telah dilakukan sejak awal dasawarsa 2000. Pada awal dasawarsa 2010, diharapkan proses dapat berlangsung dan menjadi proses aplikasi reaktor nuklir temperatur tinggi untuk produksi hidrogen yang pertama di dunia^[4,15]. Namun demikian, komersialisasi produksi masih menunggu komersialisasi reaktor temperatur tinggi.

Dari sisi ketersediaan sebagai sumber energi, bahan bakar nuklir diperkirakan akan mampu memasok energi untuk kebutuhan antara 50-100 tahun, jika diasumsikan daur bahan bakar nuklir sekali pakai (*once through*) yang dipakai. Jika dimanfaatkan model daur dengan olah ulang, atau sistem reaktor pembiak, energi nuklir bisa dipakai untuk masa yang relatif tak terbatas^[3,16]. Disamping itu, energi nuklir merupakan sumber energi yang tidak mengemisi CO₂ ke lingkungan.

2.2. Steam Reforming DME dengan Panas Nuklir Temperatur Rendah

2.2.1. Proses Steam Reforming DME

Sebagaimana proses *steam reforming* gas alam, reaksi pembentukan hidrogen melalui proses *steam reforming* DME juga merupakan reaksi endotermal, dengan reaksi:



Keseimbangan termodinamika di dalam bejana reaktor mengikuti persamaan^[10,17,18]:

$$K_1 = \frac{P_{CO}^2 P_{H_2}^4}{P_{CH_3OCH_3} P_{H_2O}} = 6,97 \times 10^{25} e^{\frac{2,59 \times 10^3}{T}} \quad (10)$$

$$K_1 = \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}} = 9,49 \times 10^{-3} e^{\frac{4,79 \times 10^3}{T}} \quad (11)$$

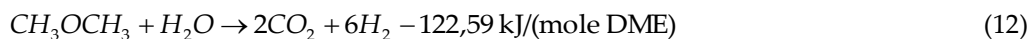
dengan:

K : konsanta keseimbangan

Pi : tekanan parsial (atm)

T : temperatur (°K)

Total reaksi Persamaan 8 dan 9, secara stoikiometri sering dituliskan sebagai sebagai:

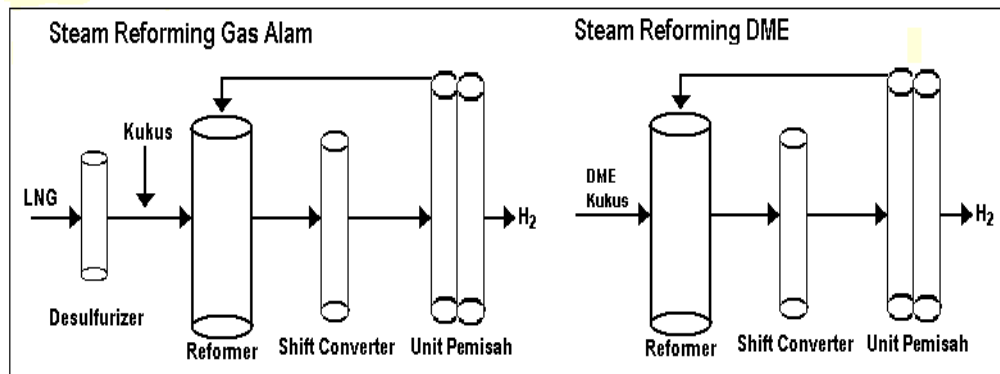


yang merupakan reaksi endotermal membutuhkan panas reaksi sebesar 122,59 kJ/(mole DME). Energi panas yang dibutuhkan pada reaksi *steam reforming* DME masih lebih kecil dibanding pada reaksi *steam reforming* gas alam:



yang merupakan reaksi endotermal membutuhkan panas reaksi sebesar 165 kJ/(mole LNG).

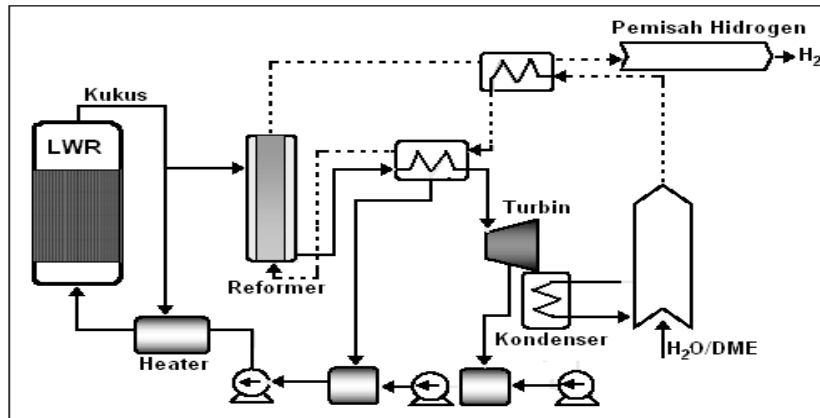
Pada Gambar 3 ditunjukkan blok diagram proses *steam reforming* gas alam dan DME. Berbeda dengan *steam reforming* gas alam yang membutuhkan unit desulfurisasi, *steam reforming* DME tidak membutuhkan unit desulfurisasi. Kadar belerang pada DME relatif sangat kecil, karena proses desulfurisasi telah dilakukan pada proses sintesis DME. Dengan tidak adanya unit desulfurisasi, unit operasi proses *steam reforming* DME menjadi lebih kompak. Di samping itu, karena beroperasi pada temperatur yang jauh lebih rendah, pembentukan CO juga lebih sedikit, sehingga meringankan beban unit *shift converter* dan unit pemisah hidrogen.



Gambar 3. Diagram Alir Proses *Steam Reforming* Gas Alam dan DME^[4,15].

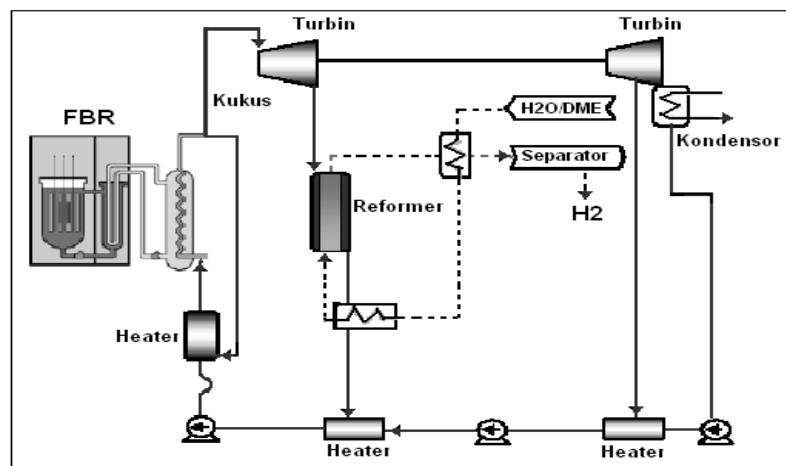
2.2.2. Kopel Proses dengan Nuklir

Produksi hidrogen proses *steam reforming* gas alam merupakan proses produksi hidrogen yang paling banyak dipakai. Diperkirakan lebih dari 85% konsumsi hidrogen dunia saat ini diproduksi dengan proses *steam reforming* gas alam. Karena proses berlangsung pada temperatur tinggi (800-1000°C), substitusi energi panas konvensional dengan reaktor nuklir hanya bisa dilakukan dengan reaktor nuklir temperatur tinggi (*High Temperature Gas Cooled Reactor*, HTGR). Berbeda dengan proses *steam reforming* gas alam, proses *steam reforming* DME berlangsung pada temperatur sekitar 300°C. Hal ini menguntungkan karena substitusi sumber panas konvensional pembakaran bahan bakar fosil dengan panas nuklir, dapat dilakukan dengan reaktor temperatur rendah (LWR), reaktor temperatur menengah (*Fast Breeder Reactor*, FBR), maupun reaktor temperatur tinggi (HTGR). Toshiba bekerjasama dengan Westinghouse telah melakukan analisis konfigurasi kopel nuklir dengan proses *steam reforming* DME^[8, 11]. Panas reaktor PWR yang dibawa pendingin air, dimanfaatkan untuk menjalankan proses reaksi *steam reforming* di reformer secara *up-stream turbine*. Sedangkan luaran panas sisa dari reformer, setelah dimanfaatkan sebagai pemanas umpan (DME dan kukus) dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Hal ini mengakibatkan rendahnya efisiensi termal produksi listrik hanya sekitar 23%. Tetapi karena efisiensi termal proses *steam reforming* sekitar 30%, diperoleh total efisiensi termal panas nuklir sekitar 53%. Jauh lebih tinggi daripada efisiensi termal PLTN komersial yang hanya sekitar 33%. Konfigurasi kopel reaktor nuklir temperatur rendah dengan proses *steam reforming* DME ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kopel LWR dengan Proses *Steam Reforming* DME^[11].

Analisis kopel nuklir dengan proses *steam reforming* DME juga dilakukan jika memanfaatkan reaktor nuklir temperatur medium (FBR). Berbeda dengan reaktor nuklir temperatur rendah, di sini proses *steam reforming* disusun secara *downstream* dari turbin. Panas reaktor mula-mula dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, kemudian panas luaran turbin digunakan untuk menjalankan proses reforming DME di reformer. Dengan konfigurasi ini, total efisiensi termal bisa mencapai 75%, masing-masing 49% efisiensi produksi hidrogen dan 26% efisiensi termal di turbin.



Gambar 5. Kopel FBR dengan Proses *Steam Reforming* DME^[11].

3. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan hidrogen dunia diperkirakan akan terus meningkat. Semakin sempitnya lahan pertanian, akan mendorong intensifikasi pertanian yang berimplikasi meningkatnya permintaan pupuk, yang berarti akan menambah laju permintaan hidrogen. Semakin langkanya minyak primer dan sekunder mendorong eksplorasi minyak berat (*shell, bitumen*) yang pada pengolahan membutuhkan hidrogen jauh lebih banyak. Di samping itu, berbagai ujicoba mobil hidrogen yang menunjukkan hasil menggembirakan, menjadi indikasi bahwa akan terjadi ledakan permintaan hidrogen yang luar biasa besar. Untuk mengantisipasi lonjakan permintaan hidrogen di era hidrogen, berbagai teknologi produksi terus dikembangkan. Isu lingkungan juga menjadi isu menarik yang mendorong para ahli hidrogen untuk mengembangkan sistem produksi yang lebih ramah lingkungan. Substitusi kebutuhan energi panas temperatur tinggi dalam jumlah besar dengan energi lain (nuklir,

surya) diperkirakan mampu menurunkan laju emisi CO₂ dalam jumlah yang sangat signifikan.

Sampai saat ini, sekitar 85% kebutuhan hidrogen dipasok dari produksi berbasis proses *steam reforming* gas alam. Proses ini berlangsung pada temperatur sangat tinggi (800-1000°C), yang berimplikasi membutuhkan energi panas dalam jumlah besar. Pasokan energi panas dengan membakar bahan bakar fosil akan berdampak pada emisi CO₂ yang besar dan pemborosan cadangan sumber daya energi. Studi pemanfaatan reaktor nuklir temperatur tinggi untuk mengoperasikan proses *steam reforming* gas alam telah dilakukan sejak dasawarsa 1970-an di negara-negara maju seperti Jepang, Amerika, Jerman, dan lain-lain. Jepang telah menyelesaikan studi aplikasi reaktor nuklir temperatur tinggi untuk proses *steam reforming* gas alam pada awal dasawarsa 2000an, dan memasuki tahap implementasi ujicoba kopel nuklir. Diperkirakan pada awal dasawarsa 2010-an, kopel nuklir temperatur tinggi HTTR dengan proses *steam reforming* gas alam skala *demonstration plant*, akan beroperasi. Namun demikian, komersialisasi kopel nuklir ini diperkirakan masih akan terkendala dengan belum komersialnya HTGR. Karena itu terus dicari teknologi proses lain yang beroperasi pada kisaran reaktor nuklir yang telah komersial, salah satunya adalah proses *steam reforming* DME.

Dibandingkan dengan proses *steam reforming* gas alam yang beroperasi pada temperatur tinggi (800-1000°C), proses *steam reforming* DME lebih menguntungkan karena beroperasi pada temperatur yang jauh lebih rendah yaitu 300°C. Adapun keuntungan proses *steam reforming* DME meliputi:

- a. Karena beroperasi pada temperatur yang jauh lebih rendah, proses *steam reforming* DME tidak membutuhkan material temperatur tinggi untuk unit operasinya. Atau jika menggunakan material yang tidak berbeda, material akan lebih tahan lama karena beroperasi pada temperatur yang jauh lebih rendah. Dengan demikian, diharapkan proses *steam reforming* akan lebih murah.
- b. Jika dikopel dengan reaktor nuklir sebagai sumber energi panas proses, jenis reaktor nuklir yang bisa dipakai jauh lebih terbuka. Bahkan reaktor daya komersial yang saat ini banyak beroperasi juga akan mampu mencukupi kebutuhan energi panas untuk proses *steam reforming* DME. Sementara proses *steam reforming* gas alam, jika dikopel dengan reaktor nuklir hanya dimungkinkan jika reaktornya HTGR yang beroperasi pada temperatur tinggi.
- c. *Steam reforming* DME tidak memerlukan unit desulfurisasi karena kadar belerang pada DME sangat rendah. Di samping itu, karena beroperasi pada temperatur rendah, pembentukan CO juga relatif jauh lebih sedikit, sehingga unit transformasi CO bisa diabaikan. Ini berarti unit operasi proses *steam reforming* DME akan lebih kompak dibanding proses *steam reforming* gas alam.
- d. Bagi negara yang tidak memiliki sumber daya energi, seperti Jepang misalnya, harga DME cukup kompetitif dibanding dengan harga LNG. Hal ini karena proses pembuatan gas alam cair (LNG) sampai transportasi dan penyimpanan di lokasi pabrik lebih mahal daripada proses pembuatan, pengapalan, dan penyimpanan DME. Pencairan gas alam memerlukan tekanan tinggi disertai pendinginan, kemudian kapal tanker khusus untuk mengangkutnya. Sementara DME cukup dengan penambahan tekanan, dan diangkut dengan kapal tanker yang biasa mengangkut LPG.
- e. Dari sisi termodinamika, kedua proses sama-sama proses endotermis, tetapi kebutuhan panas pada proses *steam reforming* DME lebih rendah daripada proses *steam reforming* gas alam (lihat Persamaan 12 dan 13).
- f. Dari sisi kogenerasi panas nuklir, proses *steam reforming* DME menguntungkan karena :

- 1) dari aspek lingkungan dan konservasi, penggantian sumber energi panas konvensional pembakaran bahan bakar fosil akan berpotensi menurunkan laju emisi CO₂ dalam jumlah yang cukup signifikan, yang berarti juga menghemat cadangan sumber daya energi bahan bakar fosil.
- 2) dari aspek diversifikasi nuklir, kopel nuklir dengan proses *steam reforming* DME akan meningkatkan efisiensi termal yang dari sekitar 33% menjadi sekitar 53% untuk reaktor nuklir temperatur rendah (LWR). Bahkan jika memanfaatkan reaktor nuklir temperatur medium, efisiensi termal akan jauh lebih besar yaitu sekitar 75%.

Meskipun sampai sejauh ini PLTN di Indonesia belum terwujud, tetapi dapat diperkirakan bahwa ketika PLTN pertama di Indonesia dibangun, dunia sudah memasuki era reaktor nuklir Generasi IV. Pada era ini, reaktor nuklir tidak saja dimanfaatkan untuk produksi listrik, tetapi juga dimanfaatkan sebagai sumber energi panas untuk memasok kebutuhan panas industri. Untuk itu, berbagai kajian aplikasi panas reaktor nuklir untuk keperluan non listrik perlu terus dicermati, agar Indonesia tidak terlalu ketinggalan pada saat memasuki program PLTN secara nyata.

4. KESIMPULAN

Dari kajian proses steam reforming DME dengan sumber energi panas reaktor nuklir temperatur rendah, dapat disimpulkan:

- Steam reforming DME merupakan proses yang cukup menarik untuk memproduksi hidrogen di masa depan. Dibanding proses konvensional setam reforming gas alam, proses ini beroperasi dengan temperatur yang jauh lebih rendah, dan unit pabrik lebih kompak karena unit desulfurisasi bisa diabaikan.
- Temperatur operasi proses steam reforming DME yang rendah, memungkinkan untuk aplikasi panas reaktor nuklir dengan kisaran temperatur yang fleksibel. Reaktor nuklir temperatur rendah seperti LWR, reaktor nuklir temperatur menengah (FBR), maupun reaktor nuklir temperatur tinggi bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi panas operasi proses.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SOENTONO, S., Peran BATAN dalam alih Teknologi Energi Nuklir di Indonesia, Seminar Nasional ke-12 Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Yogyakarta, 12-13 September 2006.
- [2]. _____, Nuclear Hydrogen Society Established in Japan, *International Journal of Hydrogen Energy* 26 (2001) 1001-1002
- [3]. US-DOE, National Hydrogen Energy Roadmap, National Hydrogen Energy Roadmap Workshop, Washington DC, 2002.
- [4]. HORI, M., SHIOZAWA, S., Research and Development for nuclear production of hydrogen in Japan, OECD/NEA 3rd Information Exchange Meeting on the Nuclear Production of Hydrogen, Oarai, 2005.
- [5]. FUKUSHIMA, K., OOTA, H., YAMADA, K., MAKINO, S., OGAWA, T., YOSHINO, M., Development of a Nuclear Hydrogen Production System by Dimethyl Ether (DME) Steam Reforming and Related Technology, *Journal of Power and Energy System*, Vol.2, No. 2, 2008.
- [6]. CHARLES, W.F, Hydrogen, electricity, and nuclear power, *Nuclear News*, Sept. 2002.
- [7]. DONNELLY, J. K, PENDERGAST, D. R., Nuclear Energy in Industry: Application to Oil Production, Proc. Of Climate Change and Energy Options Symposium Canadian Nuclear Society, Ottawa, Canada, November 17-19, 1999.

- [8]. SHIGA, S., AP1000 and Other Reactors Developed by Toshiba and Westinghouse, Proc. of ICAPP 2007 Nice, France, May 13-18, 2007
- [9]. _____, Dimethyl ether, diunduh dari http://en.wikipedia.org/wiki/Dimethyl_ether, 16 Maret 2010.
- [10]. LARSON, E. D., YANG, H., Dimethyl ether (DME) from coal as a household cooking fuel in China, Energy for Sustainable Development, Volume VIII No. 3, September 2004
- [11]. FUKUSHIMA, K., OGAWA, T., Conceptual Design of Low-Temperature Hydrogen Production and High-Efficiency Nuclear Reactor Technology, JSME International Journal, Series B, Vol. 17, No. 2, 2004.
- [12]. _____, Cogeneration, Diunduh dari http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN_Cogen_Guide.pdf, 22 Maret 2010.
- [13]. IAEA-TECDOC 1085, Hydrogen as an Energy Carrier and Its Production by Nuclear Power, IAEA Publication, Vienna, 1999.
- [14]. FUJIMOTO, N., FUJIKAWA, S., HAYASHI, H., NAKAZAWA, T., IYOKU, T., KAWASAKI, K., Present Status of HTTR Project, Achievement of 950C of Reactor Outlet Coolant Temperature, GTHTTR300C for Hydrogen Cogeneration, OECD/NEA 3rd Information Exchange Meeting on the Nuclear Production of Hydrogen, Oarai, 2005.
- [15]. HORI, M., NUMATA, M., AMAYA, T., FUJIMURA, Y., Synergy of Fossil Fuels and Nuclear Energy for the Energy Future, Proceedings of OECD/NEA Third Information Exchange Meeting on Nuclear Production of Hydrogen, Japan, October, 2005.
- [16]. CROSBIE, L. M., CHAPIN, D., Hydrogen Production by Nuclear Heat, GENES4/ ANP2003, Sep. 15-19, 2003, Kyoto, JAPAN
- [17]. SEMELSBERGER, T. A., BORUP, R. L., Thermodynamics of Hydrogen Production from Dimethyl Ether Steam Reforming and Hydrolysis, Los Alamos National Laboratory, October 2004.
- [18]. SUKHE, V.A., SOBYANIN, V. D., BELYAEV, G. G., VOLKOVA, E. A., Production of Hydrogen by Steam Reforming of Dimethyl Ether, Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2005, Istanbul, Turkey, 13-15 July 2005.